

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikačnej techniky

Meranie vplyvu teploty na spektrálne vlastnosti výkonových LED diód
Measuring of temperature influence on the spectral characteristics of
power LED

Prehlasujem, že som túto bakalársku prácu vypracoval samostatne. Uviedol som všetky literárne pramene a publikácie, z ktorých som čerpal.

V Ostrave 7.5.2010

.....

Podpis

PodĎakovanie

Rád by som poďakoval prof. RNDr. Vladimírovi Vašínkovi, Csc. za odborné vedenie mojej práce a za ochotu pri poskytovaní odborných rád a zároveň chcem poďakovať za umožnenie voľného vstupu do laboratória, čo výrazne prispelo k vytvoreniu danej bakalárskej práce.

Abstrakt

Bakalárska práca popisuje primárne vlastnosti a konštrukciu LED diód. Okrem tejto problematiky zahŕňa tiež analýzu teplotného chovania žiarivých zdrojov. Najdôležitejšou časťou Bakalárskej práce je laboratórna úloha, ktorá graficky znázorňuje vplyv teploty na spektrálne vlastnosti žiarivých zdrojov používaných v optických komunikáciách. Merané boli výkonové LED diódy, LED diódy a laserové diódy.

Kľúčové slova:

Výkonové LED diódy, LED diódy, laserové diódy, vlnová dĺžka, šírka spektrálnej čiary, monochrómia, optický vyžarovaný výkon

Abstract

Thesis describes the primary features and construction of LEDs. This issue also includes an analysis of the temperature behavior of bright sources. The most important part of the thesis is the role of the laboratory which graphically shows the effect of temperature on the spectral characteristics of the single bright sources used in optical communications. Were measured power LEDs, LEDs and laser diodes.

Key words:

Power LEDs, LEDs, laser diodes, wavelength, width of spectral lines, monochromes, emitted optical power

Zoznam použitých symbolov a skratiek

AlAs	arzenid hlinitý
AlGaAs	arzenid gália hlinitého
AlGaP	fosfid gália hlinitého
AlGaInP	fosfid gália india hlinitého
AlGaInN	nitrid gália india hlinitého
AMOLED	(Activ-Matrix Organic Light-Emitting Diode) viacriadkové aktívne organické LED displeje
a	činiteľ pohltenia, mriežková konštanta
b	extinkčný činiteľ
CdTe	telurid kadmnatý
c_{θ}	teplotný koeficient
DNA	deoxyribonukleová kyselina
DSTN	(Dual-Scan Twisted Nematic) displeje s pasívnou maticou
d	dipólový moment prestupu, hrúbka vrstvy
E_g	zakázané pásmo
f_c	medzná frekvencia
GaAs	arzenid gália
GaN	nitrid gália
GaP	fosfid gália
GaSb	antimonid gality
GaAsP	fosfid arzenidu gality
HgCdTe	telurid kadmato - ortuťný
h	Planckova, redukovaná konštanta
InAs	arzenid india
InP	fosfid india
InSb	antimonid india

InGaN	Nitrid gália inditého
k	Boltzmannova konštanta
LCD	(Liquid Crystal Display) displej z tekutých kryštálov
LD	(Laser Diod) laserová dióda
LED	(Light-Emithing Diode) svetlo emitujúca dióda
LED-IREDD	infračervená dióda
MOCVD	(Metal-Organic Chemical Vapour Deposition) organické chemické vylučovanie kovov z plynnej fáze
m^*	efektívna hmotnosť
n_s	stredná koncentrácia nositeľov
OLED	(Organic Light-Emithing Diode) organická svetlo emitujúca dióda
P_L	vyžarovaný svetelný výkon
PbTe	telurid olovnatý
PbSnTe	telurid cínno - olovnatý
PbSnSe	selenid cínno - olovnatý
PMOLED	(Pasiv-Matrix Organic Light-Emithing Diode) viacriadkové pasívne organické LED displeje
SiC	karbid kremíka
SMT	(Surface Mounted Technology) technológia povrchovej montáže
STN	(Scan Twisted Nematic) displeje s pasívnou maticou
TFT	(Thin Film Transistor) displej s aktívnou maticou
UV	(Ultra Violet) ultrafialové žiarenie
UVLD	(Ultra Violet Lockout Devices) ultrafialové zariadenia
W	energia všeobecne
W_g	šírka pásmovej medzery
ZnO	oxid zinočnatý
α	koeficient pohltenia, ohybový uhol, uhol otvorenia, uhol stočenia kmitovej roviny

β	počet žiarivých rekombinácií v jednotkovom objeme za časovú jednotku, prenos spätnoväzbovej vetvy
δ	smerový uhol
δ_a	teplota okolia
δ_c	teplota puzdra
δ_j	teplota priechodu
Θ	absolútna teplota
Θ_D	Debyeova teplota
λ	vlnová dĺžka, index vzťahujúci sa na spektrálne veličiny

Obsah

1 Úvod.....	1
2 Princíp činnosti LED diódy	2
2.1 Luminiscencia v polovodičoch.....	3
2.2 Štruktúra LED diódy	5
3 Konštrukcia LED diód	7
3.1 Materiály používané na výrobu diód.....	7
3.1.1 Binárne polovodiče a ich vlastnosti.....	7
3.1.2 Ternárne polovodiče a ich vlastnosti.....	9
3.1.3 Kvaternárne polovodiče a ich vlastnosti.....	9
3.2 Technológie výroby LED.....	9
3.2.1 Puzdra LED diód.....	12
3.3 Prehľad rôznofarebných polovodičových LED diód.....	12
4 Vlastnosti LED diód.....	15
4.1 Zrovnanie LED diód s laserovými diódami (LD)	15
5 Analýza teplotného chovania žiarivých zdrojov	17
5.1 Vplyv teploty na vlastnosti LED diódy.....	17
5.2 Vplyv teploty na vlastnosti laserových diód	18
6 Laboratórna úloha zameraná na meranie spektrálnych vlastností LED diód v závislosti na teplote okolia.....	19
6.1 Úvod.....	19
6.2 Zadanie úlohy	19
6.3 Zostavenie meracieho pracoviska	20
6.4 Pracovný postup pri meraní diód.....	21
6.5 Vyhodnotenie a záver laboratórnej úlohy	24
7 Záver	26
Literatúra.....	27
Prílohy.....	28

1 Úvod

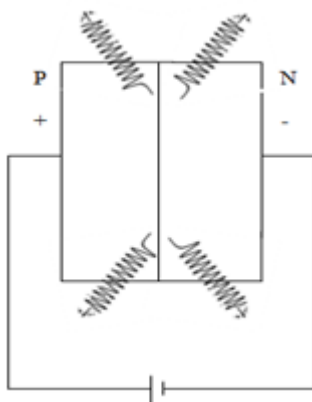
LED diódy sa v súčasnosti stávajú neoddeliteľnou súčasťou nášho života. Nachádzame ich v mnohých odvetviach. LED diódy sa tradične používajú ako indikátory a tiež ako zobrazovacie prvky v segmentových zobrazovačoch. V poslednom čase nachádzajú využitie vo veľkoplošných zobrazovačoch používaných na reklamné účely a na osvetlenie. Presnejšie sa jedná o malé stolné lampy, pretože náklady na výrobu bežných žiaroviek sú podstatne menšie ako náklady na výrobu LED diód s podobnou svietivosťou. Podstatnú úlohu zohrávajú v dopravnej svetelnej signalizácii. Nachádzame ich v cestných semaforoch a železničných návestidlách. Pre svoju dlhú životnosť a otrasu schopnosť sa uplatňujú aj v automobiloch. Slúžia ako náhrada koncových brzdomých či smerových svetiel. Veľmi dôležité uplatnenie nachádzajú v telekomunikáciách, kde LED diódy zabezpečujú prenos informácie prostredníctvom optických vlákien.

Cieľom zadanej bakalárskej práce je priblížiť všeobecnú problematiku o LED diódach. Konkrétne charakteristické vlastnosti, konštrukciu a vplyvy ovplyvňujúce dané vlastnosti LED diód. Podrobnejšie sa budem zaoberať vplyvom okolitej teploty na spektrálne vlastnosti výkonových LED diód. Pre zaistenie potrebných informácií vytvorím laboratórnu úlohu. V nej sa bude skúmať vplyv okolitej teploty na jednotlivé diódy. Každá dióda sa premeria niekoľkokrát, aby výsledná hodnota bola čo najpresnejšia.

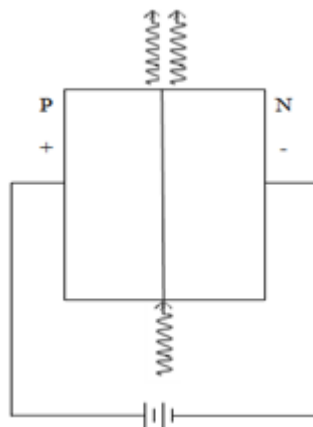
2 Princíp činnosti LED diódy

Polovodičové materiály môžu emitovať žiarenie v dôsledku elektrónovo-dierovej rekombinácie. Materiály schopné emitovať takéto žiarenie nevysielajú toto žiarenie pri izbovej teplote, pretože koncentrácia tepelne vybudенých elektrónov a dier je príliš nízka k tomu, aby mohla vyvolať detekovaný žiarivý tok. Je však možné použiť vonkajší zdroj energie k vybudeniu dostatočného počtu elektrón-dierových párov tak, aby mohlo vzniknúť relatívne intenzívne spontálne rekombinančné žiarenie, teda luminiscencia. Výhodný spôsob, ako toho dosiahnuť je zapojiť prechod P-N v priepustnom stave, čo má za následok injekciu elektrónov a dier do tej istej priestorovej oblasti. Výsledné rekombinančné žiarenie sa potom nazýva injekčná elektroluminiscencia.

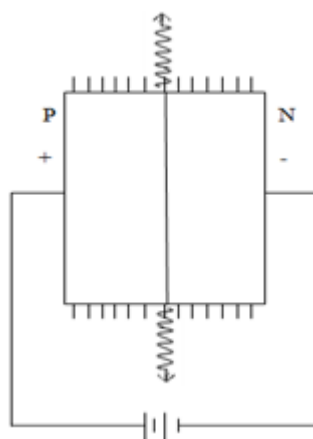
Luminiscenčná dióda (LED, z angličtiny *light-emitting diod*) je v priepustnom smere pólovaný prechod P-N, vyrobený z polovodiča s priamymi prechodmi zakázaného pásu, ktorý emituje žiarenie vo forme injekčnej elektroluminiscencie (obrázok 1). Ak napätie v priepustnom smere vzrastie nad určitú hodnotu, počet elektrónov a dier v oblasti priechodu sa môže zväčšiť natoľko, že sa dosiahne populačná inverzia, pričom stimulovaná emisia (t.z. emisia indukovaná prítomnými fotónmi) prevláda nad absorpciou. Prechod sa potom dá použiť ako diódový laserový zosilňovač (obrázok 2) alebo s príslušnou spätnou väzbou ako injekčná laserová dióda (obrázok 3).



Obrázok 1 - Polovodičová dióda s prechodom P-N, pólovaná v priepustnom smere a pracujúca ako LED[2]



Obrázok 2 - Polovodičový optický zosilňovač [2]



Obrázok 3 - Polovodičový injekčný laser [2]

Polovodičové fotónové zdroje, či už vo forme LED alebo injekčných laseroch, slúžia ako veľmi účinne elektrónovo-fotónové meniče. Ich výhodou je jednoduchá modulácia ovládaná injektovaným prúdom. Ďalšími výhodami sú malé rozmery, vysoká účinnosť, spoľahlivosť a kompatibilita s elektrónovými systémami. [2]

2.1 Luminiscencia v polovodičoch

Ku vzniku luminiscencie musí polovodičový materiál spĺňať podmienky, ktoré vedú k vzniku niektorého druhu žiarivej rekombinácie. Podľa spôsobu narušenia termodynamickej rovnováhy v polovodiči rozlišujeme niekoľko druhov luminiscencie.

Katodoluminiscencia

Je špeciálnym druhom luminiscencie, pri ktorom dochádza ku vzniku nerovnovážnych nosičov náboja v polovodiči dopadom a absorpciou kinetickej energie častíc katódových paprskou či elektrónového zväzku. Takto navodená porucha termodynamickej rovnováhy je u vhodne pripraveného polovodiča sprevádzaná žiarivými rekombináciami a emisiou fotónov. Tento jav sa využíva v polovodičových laseroch budených elektrónovým zväzkom.

Fotoluminiscencia

Charakterizuje emisiu žiarenia, ktorá vznikla rekombináciou v polovodiči, kde termodynamická rovnováha bola porušená generovaním páru elektrón-diera. Vlnová dĺžka budiaceho žiarenia je kratšia ako dĺžka vlny rekombinačnej emisie. Emisné spektrum fotoluminiscencie dovoľí špecifikovať typy a účinnosti jednotlivých žiarivých rekombinačných mechanizmov v polovodiči. Fotoluminiscencia sa väčšinou využíva pre sledovanie fyzikálnych vlastností materiálu, len výnimočne sa za pomoci nej konštruujú opticky budené polovodičové lasery.

Elektroluminiscencia

Je jav, pri ktorom dochádza k priamej premene elektrickej energie na energiu elektromagnetického žiarenia. K vybudeniu žiarivých rekombinačných procesov sa využíva elektrické pole, ktoré pôsobí na aktívny kryštalický alebo práškový materiál. V dnešnej dobe existuje viacero spôsobov budenia elektroluminiscencie.

Intrizická metóda: Elektroluminiscencia vzniká pôsobením striedavého elektrického poľa s frekvenciou rozhlasového rozsahu na prach polovodiča. Nárazovou ionizáciou vzniká v zrnku polovodiča nadbytok nosičov, čo vyvoláva rekombinančné procesy. Účinnosť nie je väčšia ako 1%.

Lavínová metóda: Ak pôsobí na voľné nosiče v polovodiči po dostatočne dlhú dobu dostatočne silné elektrické pole, vzrastie ich rýchlosť a kinetická energia natoľko, že môžu nárazom ionizovať atómy prímеси alebo mriežky a vytvoriť tak páry sekundárnych nosičov. Tieto nosiče sú elektrickým poľom znovu urýchľované, dochádza k ďalším ionizáciám a lavínovitému nárastu prúdu, pri ktorom je v aktívnej oblasti veľmi vysoká koncentrácia voľných nosičov a sú splnené podmienky pre vznik rekombinančných prechodov. Proces však vyžaduje zdroj primárnych nosičov a prítomnosť silného poľa v materiáli. Obe podmienky môžu byť splnené na záverne polarizovanom P-N priechodu v oblasti lavínovitom prierazu aj na rovnako orientovanom priechodu kov-polovodič, kde vznikajú vysoké intenzity poľa. U týchto

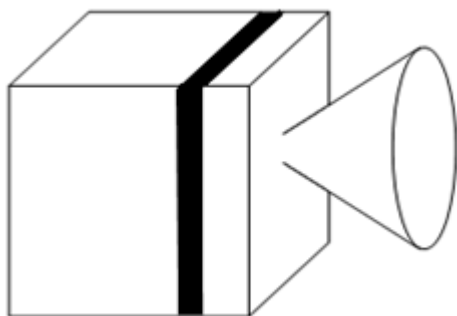
priechodov je rýchlosť vysávania nosičov z oblasti rekombinácie väčšia ako rýchlosť ich injekcie, čo nepriaznivo ovplyvňuje účinnosť žiarivej premeny. V Schottkiho prechodoch navyše väčšina voľných nosičov rekombinuje v kovovej vrstve, kde sú emitované fotóny rýchlo absorbované.

Tunelová metóda: Tu je luminiscencia dosiahnutá tunelovaním voľných nosičov v P-N priechodu. P-N priechod môže byť v priepustnom aj v závernom smere. Typické usporiadanie, ktoré využíva tunelové elektroluminiscencie, je degenerovaný P-N priechod v priepustnom stave s hladinami prímесových centier v zakázanom páse. Elektróny z vrstvy N pri malom priepustnom napätí tunelujú na hladinu prímесi v zakázanom páse polovodiča P a odtiaľto môžu žiarivo rekombinovať s dierami vo valenčnej sfére.

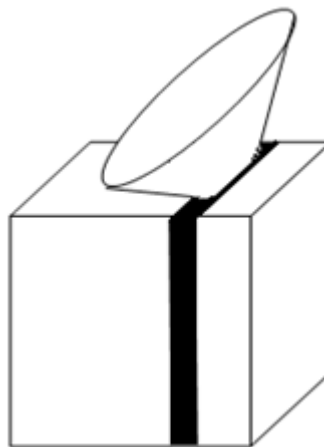
Injekčná metóda: Je najznámejšou metódou budenia elektroluminiscencie. K porušeniu termodynamickej rovnováhy v polovodiči je využitý P-N priechod polarizovaný v priepustnom smere. V ňom dochádza ku vstreku majoritných nositeľov prúdu do protiľahlých vrstiev prechodu, kde sa zvýši koncentrácia minoritných nositeľov, a tým aj stredná koncentrácia n_s . V bezprostrednej blízkosti prechodu tak dochádza k intenzívnej poruche rovnovážnej koncentrácie a k silnému zvýšeniu množstva relaxačných pochodov, z ktorých niektoré môžu byť žiarivé. Injekčná metóda budenia luminiscencie sa vyznačuje najvyššími účinnosťami, a preto sa injekcia v P-N priechodu využíva veľmi často ku konštrukcii väčšiny elektroluminiscenčných súčiastok, ale aj polovodičových laserov. [1]

2.2 Štruktúra LED diódy

LED Diódy sú konštruované v plošnej vyžarovacej (obrázok 4) alebo hranovo vyžarovacej (obrázok 5) konfigurácii. Plošne emitujúce LED emitujú žiarenie z plochy súčiastky rovnobežne s rovinou priechodu. Žiarenie emitované z protiľahlej plochy je pohltené substrátom. Hranovo emitujúce LED diódy vysielajú žiarenie z hrany oblasti priechodu. Takáto konštrukcia sa používa v laserových diódach. Tá však býva stále viac nahradzovaná plošne emitujúcimi laserovými diódami. Je to spôsobené tým, že plošne vyžarujúce LED diódy sú viac účinné [2].

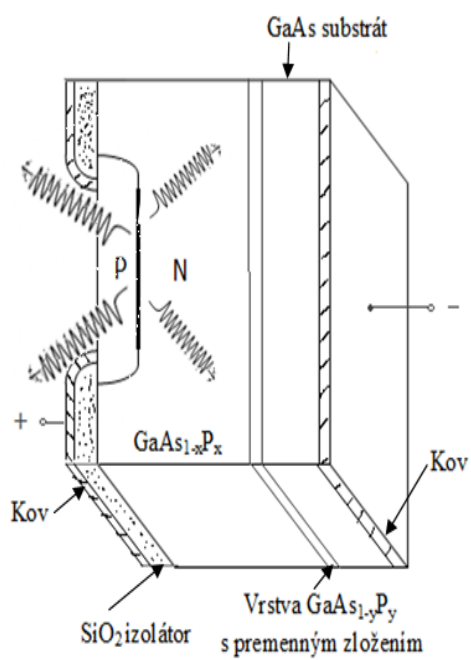


Obrázok 4 - Plošne vyžarujúca LED dióda [2]

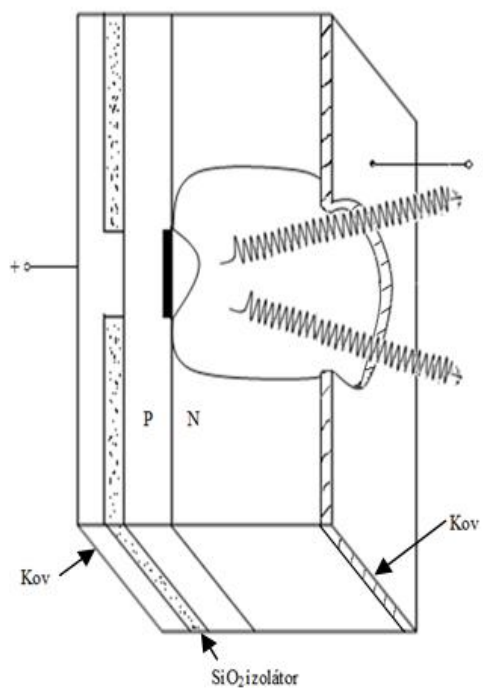


Obrázok 5 - Hranovo vyžarujúca LED dióda [2]

Príklady štruktúr plošne emitujúcich LED diód



Obrázok 6 - LED z $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$ [2]



Obrázok 7 - LED dióda Burrusovho typ [2]

3 Konštrukcia LED diód

3.1 Materiály používané na výrobu diód

Najrozšírenejšími polovodičovými materiálmi, ktoré sa využívajú na konštrukciu diód sú:

GaAs, InP, CdTe:

- 1 Široká, priama energetická medzera (1,5 eV).
- 2 Vedľajšie minimum vodivostného pásu.
- 3 Komplexná štruktúra na okraji valenčného pásu (okraj valenčného pásu sa rozpadá na viac vetiev, s viacerými extrémami).
- 4 Vysoká pohyblivosť elektrónov.

InSb, InAs:

- 1 Úzka, priama energetická medzera < 0,2-0,4 eV >.
- 2 Komplexná štruktúra na okraji valenčného pásu.
- 3 Veľmi vysoká pohyblivosť elektrónov (malá efektívna hmotnosť).

GaSb:

- 1 Stredne široká, priama energetická medzera (0,8 eV).
- 2 Nízko ležiace vedľajšie minimum vodivostného pásu.
- 3 Komplexná štruktúra na okraji valenčného pásu.

GaP:

- 1 Veľmi široká, nepriama energetická medzera (2,2 eV).
- 2 Komplexná štruktúra na okraji pásov (podobná Si).

PbTe:

- 1 Úzka, priama energetická medzera < 0,2 eV >.
- 2 Komplexné štruktúry na okraji pásov (viac údolné).
- 3 Vysoká pohyblivosť nositeľov náboja.

Uvedené materiály sú zložené z prvkov III. a V. skupiny periodickej tabuľky. [3]

3.1.1 Binárne polovodiče a ich vlastnosti

Arzenid gália

Vrcholové valenčné pásy môžu byť približne nahradené dvoma parabolickými pásmi s rôznou krivosťou: pás s ťažkými dierami, s menšími hodnotami $\partial^2 W / \partial k^2$, a pás s ľahkými dierami je užší, s väčšími hodnotami $\partial^2 W / \partial k^2$. Efektívna hmotnosť m^* sa definuje vzťahom:

$$m^* = \frac{\hbar^2}{\partial^2 W / \partial k^2} \quad (1)$$

Opodstatnenosť zavedenia pojmov ťažkých a ľahkých dier je zrejmá. Prehľad fyzikálnych konštánt polovodičov GaAs, GaP a InSb predstavuje tabuľka 1.

	Šírka pásovej medzery [eV]		Pohyblivosť pri 300K [cm ² V ⁻¹ s ⁻¹]		Pomerná efektívna hmotnosť m [*] /m ₀		Permitivita ε _r	Index lomu \bar{n}
	300K	0K	Elektróny	Diery	Elektróny	Diery		
GaAs	1,43	1,52	8 500	400	0,068	0,5	10,9	3,6
GaP	2,24	2,40	110	75	0,5	0,5	10	
InSb	0,16	0,26	78 000	750	0,013	0,5	17	

Tabuľka 1 - Fyzikálne konštanty

Arzenit gália je intermetalickou zlúčeninou a typický priamy polovodič. Maximu valenčného pásu a hlavnému minimu vodivostného pásu prislúcha tá istá hodnota vlnového vektora $k(0)$.

Závislosť šírky pásovej medzery od teploty pre GaAs, Si a Ge sa dá vyjadriť analytickou funkciou:

$$W_g(\theta) = W_g(0) - \frac{a\theta^2}{(\theta+b)} \quad (2)$$

kde pre GaAs $W_g(0) = 1,52$ eV; $a = 5,8 \cdot 10^{-4}$; $b = 300$. Teplotný koeficient:

$$c_\theta = \frac{dW_g}{d\theta} < 0 \quad (3)$$

[3]

Fosfid gália

Fosfid gália GaP je typickým nepriamym polovodičom. Za pomoci rekombinácie vznikajúcej cez nečistotové stavy vydáva zelené svetlo. Tento samotný polovodič je veľmi slabý žiarič, a preto nie je vhodný na výrobu diód. Ak pridáme izoelektronické záchytné centrá do východiskového materiálu, získame materiál, z ktorého sa dá zostrojiť svietivá dióda s vysokým kvantovým výťažkom. Používajú sa dva druhy izoelektronických centier. Jeden druh tvorí dusík, ten nahradzuje atómy fosforu, druhý druh sa skladá z kyslíčnika ZnO, ktorý nahradzuje pásy atómov Ga a P. V prípade, že je fosfid gália dotovaný dusíkom, vyžaruje zelené svetlo o vlnovej dĺžke 565 nm. Pri dotácii ZnO vydáva svetlo červené a má vlnovú dĺžku 700 nm. [3]

3.1.2 Ternárne polovodiče a ich vlastnosti

Potrojné polovodiče sa skladajú z dvoch prvkov III. skupiny a jedného prvku V. skupiny, prípadne z jedného prvku III. skupiny a dvoch prvkov V. skupiny periodickej tabuľky. Najznámejším ternárnym polovodičom je $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})\text{As}$. Jedná sa o zlúčeninu s vlastnosťami AlAs a GaAs v závislosti na molárnom zlomku x . Molárny zlomok x je podiel atómov Ga nahradených atómami Al v GaAs. Šírka zakázaného pásu E_g sa v tomto materiáli mení medzi 1,42 eV pre GaAs a 2,16 eV pre AlAs. Šírka zakázaného pásu je závislá na molárnom zlomku x , ktorý sa mení v rozmedzí hodnôt 0 až 1. Kombinácia $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ je najvýznamnejšou štruktúrou pre prípravu luminiscenčných diód (LED). [2]

3.1.3 Kvaternárne polovodiče a ich vlastnosti

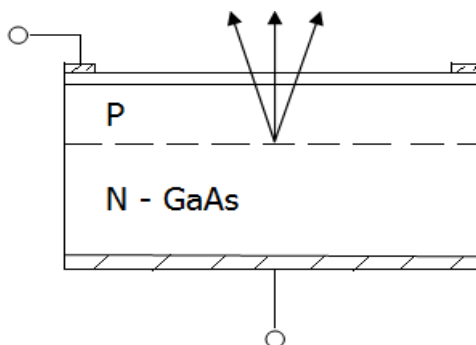
Ich zloženie najčastejšie pozostáva z dvoch prvkov III. skupiny a dvoch prvkov V. skupiny periodickej tabuľky. Využívajú sa však tiež prvky z II. a VI. skupiny, prípadne prvky IV. a VI. skupiny periodickej tabuľky. Veľmi známym polovodičom je $(\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x)(\text{As}_{1-y}\text{P}_y)$, pričom jeho zakázaný pás sa mení medzi 0,36 eV (InAs) a 2,26 eV (GaP) v závislosti na tom, ako sa menia molárne zlomky x a y . Daný typ polovodiča sa používa pri konštrukcii polovodičových laserov a detektorov. Ďalšími kvaternárnymi polovodičmi sú $\text{Hg}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$, $\text{Pb}_x\text{Sn}_{1-x}\text{Te}$ a $\text{Pb}_x\text{Sn}_{1-x}\text{Se}$. Využívajú sa pri nočnom videní, tepelnom zobrazovaní a v dlhovlnných optických komunikáciách. [2]

3.2 Technológie výroby LED

Pri výrobe LED diód sa najskôr vyrába aktívny polovodičový materiál s PN prechodom. K nemu sa dotvárajú kontakty. PN priechod sa následne rozdelí na jednotlivé čipy. Tie sa zapuzdria a zmerajú. Vlastný polovodič sa pestuje rastom z kvapalnej fáze. Ďalším postupom je legovanie, kde dochádza ku vytváraniu oblasti N a P. LED diódy sa väčšinou vytvárajú zo substrátu typu N a s elektródou pripojenou k typu P umiestnenou na povrchu. Niektoré typy diód (GaN, InGaN) používajú ako substrát safír. Keďže je priehľadný a potiahnutý odrazovou vrstvou, pomáha zvyšovať účinnosť LED diód. Niekedy sa ako substrát používa SiC, pričom ohmické kontakty sa vytvárajú zliatinovou metódou. V súčasnosti sa výrobcovia snažia

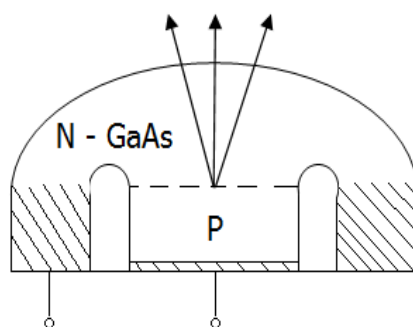
o vylepšenie technických metód tým, že využívajú metódu MOCVD. Metóda využívajúca nanášanie chemických pár (kov - organická látka). Vlastný polovodičový materiál sa môže vyskytnúť v rovinnom a guľovom prevedení alebo s bočnou emisiou.

U rovinného prevedenia je PN priechod prekrytý povlakom. Pre minimalizáciu strát žiarenia v materiáli je PN priechod umiestnený tesne pod povrch povlaku. Rovinné prevedenie zobrazuje (obrázok 8).



Obrázok 8 – Rovinné prevedenie polovodičového materiálu

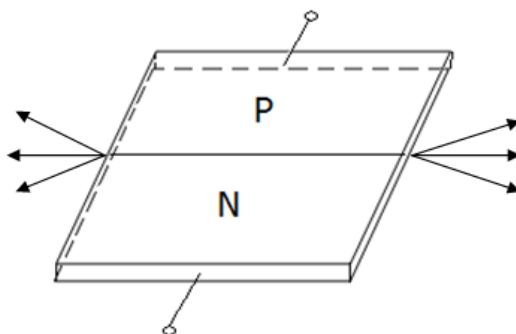
V guľovom prevedení (obrázok 9) má polovodičový materiál tvar pologule. PN priechod sa vytvára v základni pologule. Takéto usporiadanie pomáha zväčšiť účinnosť žiarenia, hlavne ak sa znížia straty totálneho odrazu na rozhraní pologule. Tvar pologule umožňuje upravovať vyžarovacie charakteristiky LED diód.



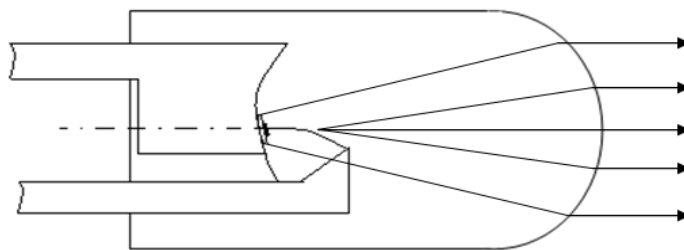
Obrázok 9 – Guľové prevedenie polovodičového materiálu

Prevedenie s bočnou emisiou (obrázok 10) má polovodičový prvok umiestnený do ohniska parabolického zrkadla so zlatým alebo strieborným povlakom vnútornej steny, ten sústredí žiarenie do osi paraboly. Dutina v parabole je zalievaná priskyricou a vrcholík má tvar čočky. U tohto prevedenia sa postupom času prešlo na upevňovanie paraboly na plechový

držiak. Ten tvorí jednu elektródu, druhá elektróda je tvorená drôtom pripevneným medzi polovodič a druhý plechový držiak. Oba držiaky sú zaliate do priehľadného plastu v tvare puzdra LED diódy. Puzdro máva priemer 5 a 3 mm. Kovové vývody sa používajú na napájanie. Kladný vývod je dlhší a nazývame ho anóda. Záporný je známy pod menom katóda. Veľkosť čipu LED diódy býva približne v desiatkach milimetrov, parabola má veľkosť 1 mm. Na zalievanie čipu sa používajú silikónové materiály. Silikónový materiál dobre odoláva teplotám vznikajúcich na PN priechode pri žiarení vysoko výkonových LED diód. Jeho použitie nie je len na utesnenie priestoru čipu s drôtovými vývodmi, ale aj pre vytvorenie kolimačnej čočky. Teplotná odolnosť silikónu je do teploty PN priechodu 180 °C, ďalšou výhodou je odolnosť proti teplote pri ich pájaní pretavovacou metódou reflow (teplota býva krátkodobo až 260 °C). V poslednej dobe je značná pozornosť výskumných prác v oblasti silikónu venovaná zvýšeniu ich teplotnej vodivosti. Vysoká teplota pôsobiaca na prechod PN znižuje totiž spoľahlivosť a žiarivosť LED diód. Popri životnosti a spoľahlivosti so zvýšenou teplotou PN priechodu klesá aj vyžarovací výkon, a preto u vysoko výkonových a svietivých LED diód je čip upevnený ešte na držiaku, ktorý odvádza teplo. [4]



Obrázok 10 – Polovodičový materiál s bočnou emisiou [4]



Obrázok 11 – Čip s PN priechodom umiestnený do vrcholu paraboly [4]

3.2.1 Puzdra LED diód

Radiálne puzdra

Radiálne puzdra sa vyrábajú zvyčajne v kruhovej podobe o priemeru 3,4,5,8,10 a 20 mm. Často ich výrobcovia označujú ako lampové puzdra. Konce puzdier sú zakončené guľovou plochou, tá pomáha sústrediť žiarenie do osy LED diód. Guľová plocha je niekedy nahradená rovinnou, štvorcovou, obdĺžnikovou alebo trojuholníkovou plochou. LED diódy umiestnené v takýchto puzdrách slúžia na signalizáciu.

Puzdra pre povrchovú montáž SMT

Malé LED diódy sa vkladajú do puzdier označených ChipLED o veľkosti 0805 z rozmermi 2,0 x 1,25 x 0,8 mm a o veľkosti 0603 z rozmermi 1,6 x 0,8 x 0,6 mm. Ešte menšími puzdrami sú SmartLED z rozmermi 1,6 x 0,6 x 0,8 mm. Viac farebné LED diódy využívajú puzdra PLCC4, PLCC6 a big PLCC6. Pre výkonové LED diódy niektorí výrobcovia rozlišujú puzdra na TOPLED a Power TOPLED, obe majú rozmery 3,7 x 3,0 x 2,7 mm. Dané puzdra často bývajú vylepšené kolimačnou čočkou, ktorá znižuje vyžarovací uhol zo 120° na 60° a tým zvyšuje svietivosť diódy v ose. [4]

3.3 Prehľad rôznofarebných polovodičových LED diód

Infračervené LED – IRED

Najčastejšie pozostávajú z materiálov GaAs a GaAlAs, pričom vlnové dĺžky GaAs sú 0,95 a 0,935 μm . GaAlAs využíva vlnové dĺžky 0,89, 0,84 alebo 0,77 μm .

Červené LED diódy

Tvoria ich materiály AlGaAs, AlGaInP, GaAsP a GaP. Používané názvy farieb sú: červená pre široké spektrum s maximom vyžarovania 0,66 μm , hyperčervená s úzkym spektrom 0,66 μm , superčervená s maximom 0,635 μm a ambérová s maximom 0,617 μm .

Žlté LED diódy

Žlté LED diódy sú vyrábané z materiálov AlGaInP, GaAsP, GaP. Žltá farba LED diód z AlGaInP má vlnovú dĺžku 0,59 μm .

Zelené LED diódy

Zelené LED diódy používajú materiály AlGaP, AlGaInP, GaN, GaP, InGaN. Zelená farba LED diód z InGaN má vlnovú dĺžku 0,525 μm .

Modré LED diódy

Využívajú materiály SiC, GaN a InGaN. Prvé modré diódy boli vyrábané zo SiC, ten je v súčasnosti nahradzovaný materiálmi na báze GaN. Dôvodom bola veľmi malá svietivosť takýchto diód max. 9 mcd. Štruktúra GaN je priamy polovodič, u ktorého dochádza k silným rekombinančným priechodom na rozdiel od nepriameho polovodiča SiC. Pre výrobu modrých LED technológií GaN sa používajú substráty na báze SiC, GaN alebo safír. Zo svetovo vyrobených asi 3 miliónov kusov modrých LED diód v roku 2007 je najviac používaný safír z cenových dôvodov (85 %).

Ultrafialové LED diódy

Používajú polovodiče AlGaIn a AlGaInN. Jedná sa o polovodiče so širokým zakázaným pásom. Snahou vývoja je dosiahnutie čo najmenších vlnových dĺžok. Materiál AlGaInN umožňuje dosiahnutie vlnovej dĺžky 0,35 až 0,37 μm . Veľmi drahými, ale komerčne používanými diódami sú diódy s vlnovou dĺžkou do 0,247 μm . Zohrávajú významnú úlohu pri dezinfekciách UV žiarením, pretože fotocitlivosť mikroorganizmov dosahuje absorpčného spektra DNA s maximom 0,26 μm .

Biele LED diódy

Poznáme 3 druhy spôsobov tvorby bielych LED diód:

1. Zmiešaním modrej farby a luminiscencie žltého luminoforu sa vytvorí studené biele svetlo s teplotou chromatičnosti 5 500 K. Modrá farba je dosiahnutá štruktúrou InGaIn – GaN. Tá emituje modrú farbu v oblasti 0,45 až 0,47 μm . Štruktúra je pokrytá luminoforom na báze

ytrium alumínium granátu dopovaním ceriumom (Ce^{3+} :YAG), ktorý žiari v oblasti žltej farby s maximom vyžarovania $0,58\text{ }\mu\text{m}$. Častice fosforu sú v blízkosti PN priechodu upevnené v zálievke z epoxidovej priskyryce. Množstvo fosforu ovplyvňuje vlastnosti a intenzitu bieleho svetla. U výkonových bielych LED diód nie je fosfor v tesnej blízkosti PN priechodu. Býva umiestnený v rovinnej vrstve pred PN priechodom tak, že odrážané žiarenie od vrstvy fosforu, ktoré by znižovalo svietivosť LED diód, môže byť vrátené späť pomocou malej kužeľovitej zrkadlovej plochy tvoriacej s PN priechodom a vrstvou luminoforu jeden celistvý celok.

2. Ultrafialová LED dióda obsahuje luminofor, ktorý zahŕňa farby: modrú, červenú a zelenú. Farba sa vytvorí tenkou vrstvou ZnS dopovaním Cu a Al ($\text{ZnS}:\text{Cu},\text{Al}$). Výsledné teplé biele svetlo vzniká zmiešaním troch farieb budených UV žiarením UVLD. Takéto svetlo má teplotu chromatičnosti $3\ 300\text{ K}$.
3. Biele svetlo je realizované zmiešaním farieb červenej, zelenej a modrej za pomoci RGB diódy, ktorá umožňuje vytvorenie bieleho svetla v širokom rozsahu teplôt chromatičnosti.

Organické LED diódy – OLED

Skratka OLED pochádza z anglického názvu Organic Light-Emitting Diode. Organickú diódu vyvinula firma Estman Kodak v roku 1987. Princíp spočíva v umiestnení niekoľkých vrstiev organickej látky medzi kovovú katódu a priehľadnú anódu. Organické vrstvy dokážu vypudzovať a prenášať diery a taktiež prenášať elektróny. Vo vyžarovacej vrstve po pripojení napätia na elektródy rekombinujú vytvorené elektróny a diery. Tým vzniká vyžarovanie žiarenia. Displeje vytvorené z OLED diód rozdeľujeme na displeje s pasívnou maticou PMOLED a s aktívnou maticou AMOLED.

Jednoduchšie PMOLED nachádzajú využitie pri zobrazovaní textu a sú podobné jednoduchým LCD displejom (DSTN, STN). Zložitejšie displeje s aktívnou maticou bývajú používané v náročných grafických aplikáciách s veľkým rozlíšením podobne ako LCD displeje TFT.

Ďalšie použitie OLED diód je v oblasti senzorov a displejov pre nočné videnie, u ktorých býva fluorescenčné farbivo vo vyžarovacej vrstve nahradzované dopujúcou fosforečnou látkou metaloporphyrinom (Pt). [4]

4 Vlastnosti LED diód

Prvé použitie LED diód v optických komunikáciách bolo v roku 1980. Za primárne vlastnosti LED diód pre optické komunikácie považujeme:

1. Nízke prúdové hustoty
2. Využívanie samovoľnej emisie
3. Nekoherentnosť žiarenia
4. Šírku spektrálnej čiary

Medzi ďalšie charakteristické vlastnosti patrí:

5. Životnosť – farebné LED diódy dosahujú životnosť 100 000 hodín. Biele LED diódy vydržia maximálne 50 000 hodín, pričom v priebehu ich doby životnosti intenzita svetla rapídne klesá.
6. Odolnosť proti otrasom – približne rovnako veľká ako u iných elektronických súčiastok. Odolnosť LED diód teda závisí na umiestnení a na montáži súčiastky v zariadení.
7. Vyžarované teplo ostáva takmer nulové. To je výhoda pri osvetľovaní potravín citlivých na teplo.
8. Napájacie napätie zostáva nízke, svetelný zdroj sám o sebe teda nevyžaduje ochranu pred nebezpečným napätím.
9. Uhlová šírka vyžarovaného svetelného zväzku sa pohybuje od 10 do 100 stupňov. Malé uhly zväzku môžeme dosiahnuť bez použitia vonkajších reflektorov už samotným tvarom puzdra. [5]

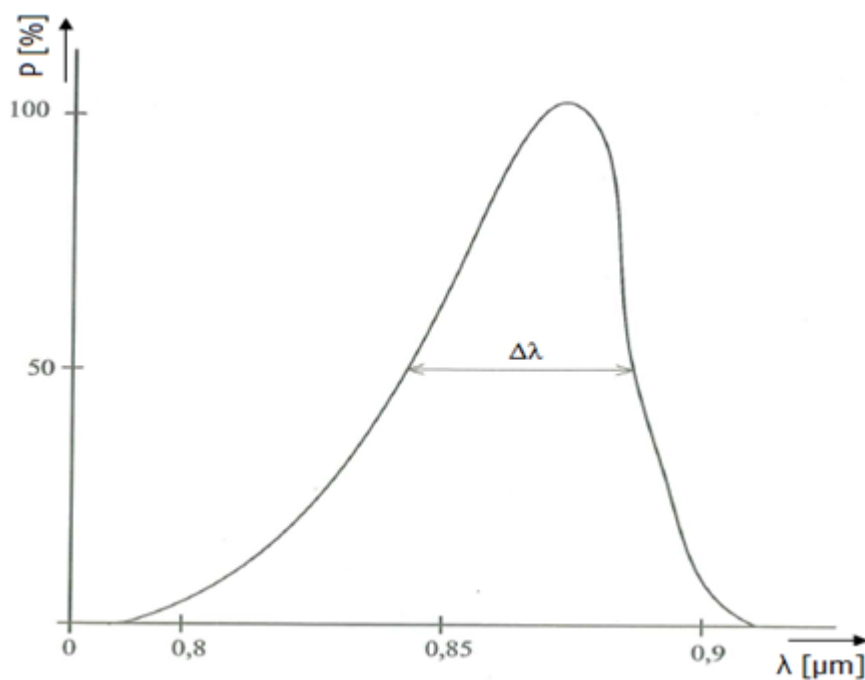
4.1 Zrovnanie LED diód s laserovými diódami (LD)

V telekomunikačnej praxi sa okrem LED diód využívajú aj iné zdroje svetla, presnejšie ide o laserové diódy.

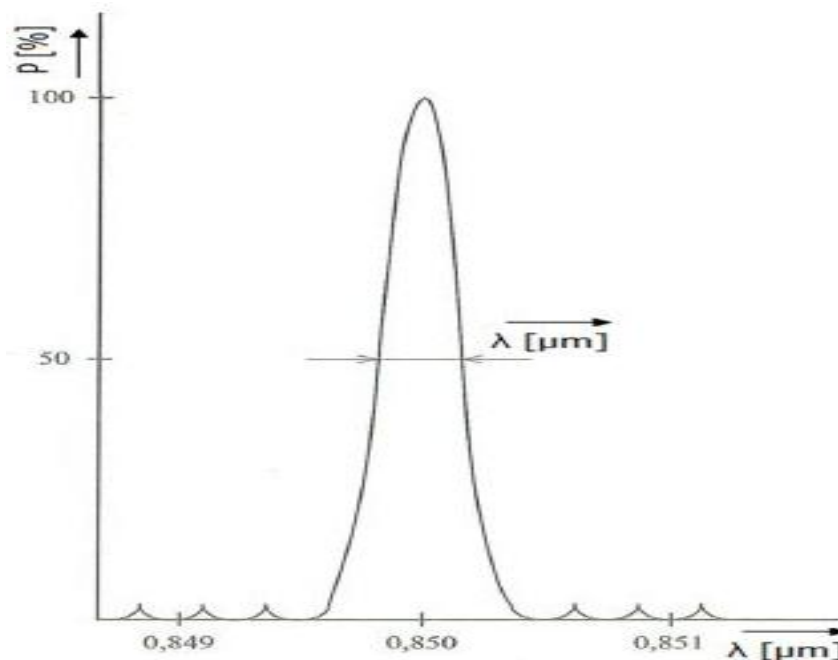
Luminiscenčné diódy sú lacné, ľahko dostupné, majú dlhú životnosť a dobre sa modulujú. K zjavným nevýhodám zaradzujeme veľkú divergenciu výstupného zväzku a malý vyžarovací výkon (v porovnaní s LD), na všetkých vlnových dĺžkach vhodných pre telekomunikačné prenosy.

Laserové polovodičové zdroje dosahujú väčšie vyžarovacie výkony, menšiu spektrálnu šírku, vysokú účinnosť väzby na vlákno a umožňujú modulovať svetlo do vyšších frekvencií (GHz, Gbit/s), na druhú stranu však vyžadujú väčšie napájacie napätie, teplotnú stabilizáciu, sú častým miestom vzniku porúch na optických traktoch a bývajú náročnejšie na výrobu.

Oba svetelné zdroje disponujú malými rozmarmi a jednoducho sa napájajú na optické vlákna. Pre menej náročné aplikácie tam, kde nie je potrebné dodržiavať smerovosť optického zväzku a pre prenosy na kratšie vzdialenosti sa používajú polovodičové zdroje LED (obrázok 12). Pre prenosy na väčšie vzdialenosti tam, kde je potrebné vyžarovať v úzkom zväzku a prenášať viacero vlnových dĺžok nachádzajú využitie laserové polovodičové diódy (obrázok 13). [7]



Obrázok 12 – Spektrálna charakteristika LED diódy [7]



Obrázok 13 – Spektrálna charakteristika laserovej diódy [7]

5 Analýza teplotného chovania žiarivých zdrojov

5.1 Vplyv teploty na vlastnosti LED diódy

Zmeny teploty výrazne ovplyvňujú parametre LED diód. Ovpływňovanie pochádza zo zmeny šírky pásovej medzery W_g pri meniacej sa teplote podľa vzorcov:

$$W_g = W_g(0) - \alpha\theta; \theta < \theta_D \quad (4)$$

prípadne

$$W_g = W_g(0) - \frac{\alpha\theta^2}{\beta - \theta} \quad (5)$$

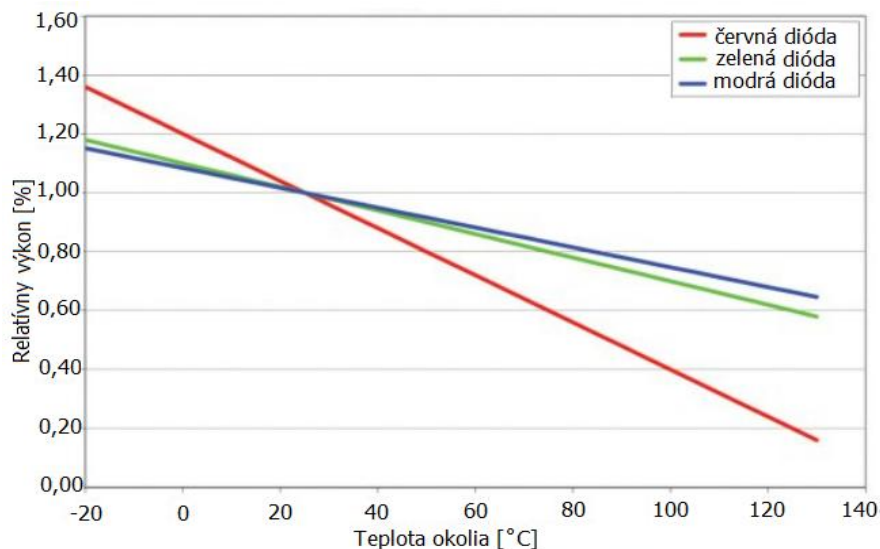
kde α a β predstavujú látkové konštanty. Debyeova teplota Θ_D je charakterizovaná vzťahom $k \cdot \Theta_D = h \cdot f_c$, pričom k symbolizuje Boltzmanovú konštantu a f_c je medzná frekvencia vibračných kmitov kryštálovej mriežky. Θ_D predstavuje parameter určujúci merné teplo látok. S nárastom absolútnej teploty Θ dochádza ku zúženiu šírky pásovej medzery. Z rovnice :

$$\lambda = \frac{1237}{W_g(0) - \alpha\theta} \quad (6)$$

respektíve

$$\lambda = \frac{1237}{W_g(0) - \frac{\alpha\theta^2}{\beta + \theta}} \quad (7)$$

je možné dokázať, že s nárastom teploty dochádza k posuvu vlnovej dĺžky λ k väčším hodnotám. Šírka spektra v polovici maxima výkonu sa rozšíri približne o 0,1 nm/°C. Rast teploty vplýva tiež na monochrómiu. Zvyšujúca teplota monochrómiu zhoršuje. Vyžarovaný svetelný výkon P_L silno závisí od teploty puzdra θ_c alebo teploty priechodu θ_j , výrobcovia však nahradzujú čoraz častejšie tieto teploty teplotou okolia θ_a z dôvodu jednoduchšieho merania. Optický vyžarovaný výkon klesá v závislosti na zvyšujúcej sa teplote (obrázok 14). [3], [8]



Obrázok 14 – Závislosť svetelného optického výkonu na teplote okolia diód, ktoré vyžarujú žiarenie červenej, zelenej a modrej farby [8]

5.2 Vplyv teploty na vlastnosti laserových diód

Prevádzka laserových diód je pri vyšších teplotách viazaná na vyššie prúdové hustoty. Neúnosnému zohriatiu súčiastky predchádzame tým, že skracujeme nástupný a zostupný čas budiaceho pulzu. Dlhšie časy nábehu vyvolávajú zväčšenie teploty, ktorá zapríčiňuje zastavenie vzniknutej svetelnej emisie. Hovoríme potom o teplotnom zhášaní lasera. Budiaci prúdový impulz by mal trvať rádovo 20 až 50 ns. Ak vzrastie teplota na čípe laserovej diódy, dôjde ku

zmene frekvencie generovaného svetla a zhoršia sa zároveň izotermické podmienky. Nežiaduce účinky teploty pôsobia tiež na vlnovú dĺžku. Tá vplyvom nárastu teploty dosahuje väčšie hodnoty. Za pomoci pokusných meraní bolo dokázané, že laserové diódy majú vo všeobecnosti menšiu odolnosť voči teplu v porovnaní s LED diódami. Teplotná závislosť je hlavnou nevýhodou laserových diód. [3]

6 Laboratórna úloha zameraná na meranie spektrálnych vlastností LED diód v závislosti na teplote okolia

6.1 Úvod

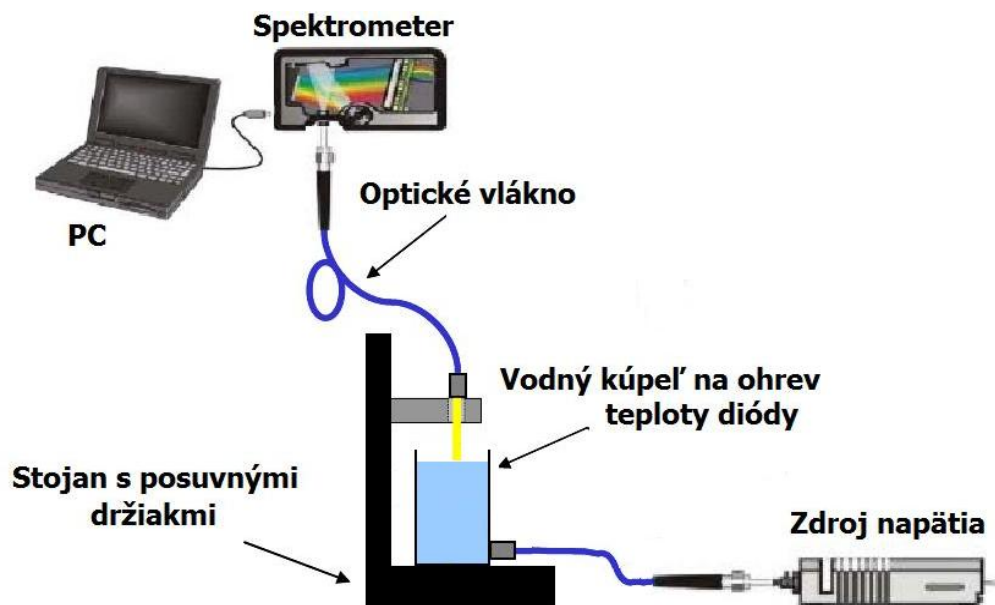
Diódy nachádzajú využitie v stále nových výrobných odvetviach. Zariadenia, ktoré v sebe majú zakomponované diódy, pôsobia na tieto polovodičové súčiastky rôznymi nežiaducimi vplyvmi. Najznámejším nežiaducim vplyvom je bezpochyby teplota. Teplota okolia mení charakteristické parametre výkonových LED diód. Laboratórna úloha zadaná v mojej Bakalárskej práci sa zaoberá práve vplyvom teploty, ktorá pôsobí na spektrálne vlastnosti výkonových LED diód. V úlohe premeriam sadu obsahujúcu deväť rôznych diód. Meranie jednej diódy bude realizované pri teplotách 20 – 80 °C. Za pomoci spektrometru získam graf zobrazujúci šírku spektra. Vďaka pomocným kurzorom odčítam šírku spektra diódy nachádzajúcu sa v polovici výkonu a vlnovú dĺžku. Na osi x bude vlnová dĺžka a na osi y relatívny výkon udávaný v jednotke scope. Daný výkon nie je dôležitý pre moju zadanú laboratórnu úlohu, a preto sa ním nebudem ďalej zaoberať. Každú diódu premeriam celkom päťkrát, a tak získam presné výsledky. Získané informácie z meraní mi umožnia zostrojiť finálne grafy zobrazujúce závislosť spektra šírky pásma a vlnovej dĺžky na teplote. Výsledky laboratórnej úlohy určia, ktoré diódy sú vhodné na konštrukciu modulátorov a demodulátorov, teda určia, či daná dióda je vhodná na prenos informácií cez optické vlákno.

6.2 Zadanie úlohy

Zostavte merací systém pre meranie a zmerajte spektrálne vlastnosti výkonových LED diód v závislosti na okolitej teplote.

6.3 Zostavenie meracieho pracoviska

Schéma zapojenia:



Obrázok 15 - Schéma meracieho pracoviska

Popis vybavenia použitého pri zostavovaní meracieho pracoviska:

Spektrometer Ocean Optics USB 2000 – Jedná sa o miniatúrny optický spektrometer používajúci 12 bitový A/D prevodník. Ku meraciemu prístroju patrí optický kábel, ktorý zabezpečuje prenos optického žiarenia do samotného spektrometra. S počítačom komunikuje prostredníctvom portu USB 2.0. Výstup zo spektrometra je zobrazený na notebooku pomocou driveru Safibra Das 2.0. Daný driver beží na 32-bitových operačných systémoch ako sú Windows 98/Me/2000/XP.

Vodná a olejová kúpeľ Memmert ONE/WNB/WNE bez cirkulácie – Táto nerezová kúpeľ obsahuje regulátor. Regulácia teploty je 10 – 200°C. Regulátor má zabudované bezpečnostné prvky ako napríklad nastavenie signalizácie pri prekročení nastaveného rozmedzia teploty alebo kontrola výšky hladiny.

Zdroj napätia P230R51D – Je určený pre profesionálne a amatérske laboratória. Disponuje dvoma zdrojmi s plynulou reguláciou napätia v rozsahu 0 – 30V s možnosťou nastavenia obmedzenia prúdu 0,1 – 4A. Zariadenie tiež obsahuje pevný zdroj napätia 5V/3A. Tepelnému preťaženiu sa zabraňuje prostredníctvom teplotného čidla a ventilátoru, ktorý ochladí prvky na prijateľnú tepelnú hodnotu.

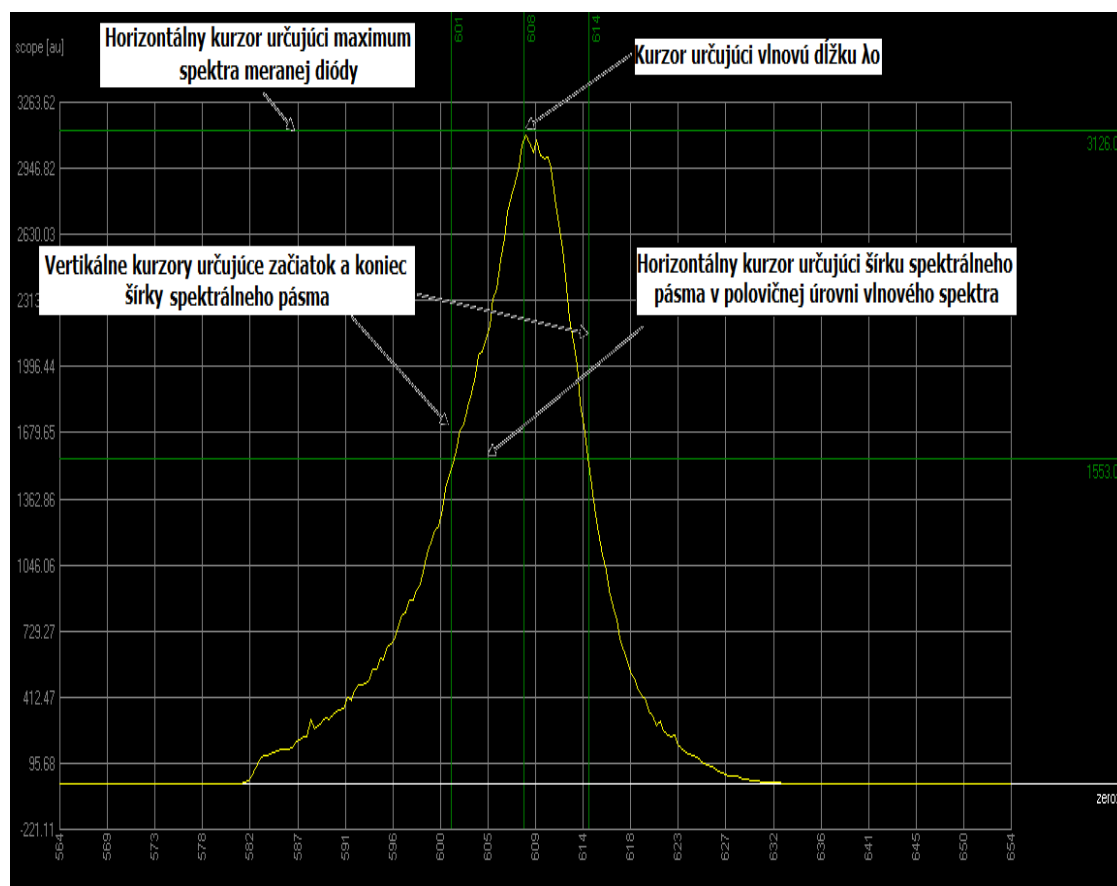
Notebook HP ProBook 4510s – Zobrazoval výstup zo spektrometra Ocean Optics 2000. Ku zobrazeniu výstupu spektrometra mohol byť použitý akýkoľvek počítač vybavený sériovým portom USB verzie 2.0.

Stojan s posuvným držiakom – Bol skonštruovaný z laboratórnej stavebnice Thorlabs. Slúžil na zaaretovanie optického vlákna, do ktorého následne nadväzovalo optické žiarenie vyžarované z testovanej diódy.

6.4 Pracovný postup pri meraní diód

Napájacie napätie diódy sa zaistovalo laborátnym zdrojom P230R51D, pričom konštantný prúd pretekajúci polovodičovými súčiastkami nadobúdala hodnotu 20mA. K zvláštnym prípadom patrila výkonová LED dióda LXHL – LB3C, pretože ňou pretekala prúd 100mA. Veľkosť pretekajúceho prúdu vyplývala z konštrukčného návrhu. Tento konkrétny typ diódy má nahradiť v budúcnosti klasické žiarovky v automobiloch a svetelných lampách. Charakteristickými vlastnosťami sú veľká odolnosť voči otrasu, dobrá smerovosť lúča a dostatočne silný výstupný výkon. V telekomunikačnej technike zatiaľ v praxi nenachádza výrazne uplatnenie. Ochranu diód pred náhodným prepätím zabezpečoval rezistor zapojený do série s diódou. Takto napájaná dióda bola vložená do vodného kúpeľa nachádzajúceho sa v kalorimetri od firmy Memmert. Parabola, odkiaľ dióda vysielala optické žiarenie, nebola umiestnená vo vode. Ohrev, prípadne chladenie vodného média, realizoval regulátor teploty patriaci do výbavy kalorimetra. Teplota vody nadobúdala najskôr 20°C, a potom rástla po piatich stupňoch až do hodnoty 80°C. Pri každej nastavenej teplote sa zmerala spektrálna charakteristika diódy spektrometrom. Vyžarované svetlo z diódy zachytával optický kábel upevnený nad diódou. Optický kábel viedol svetelné žiarenie do spektrometra Ocean Optics 2000, ktorý dané optické žiarenie spracoval a výsledky zobrazil na notebooku (obrázok 16) za pomoci nainštalovaného driveru Safibra Das 2.0. Prenos do notebooku prebiehal cez sériový

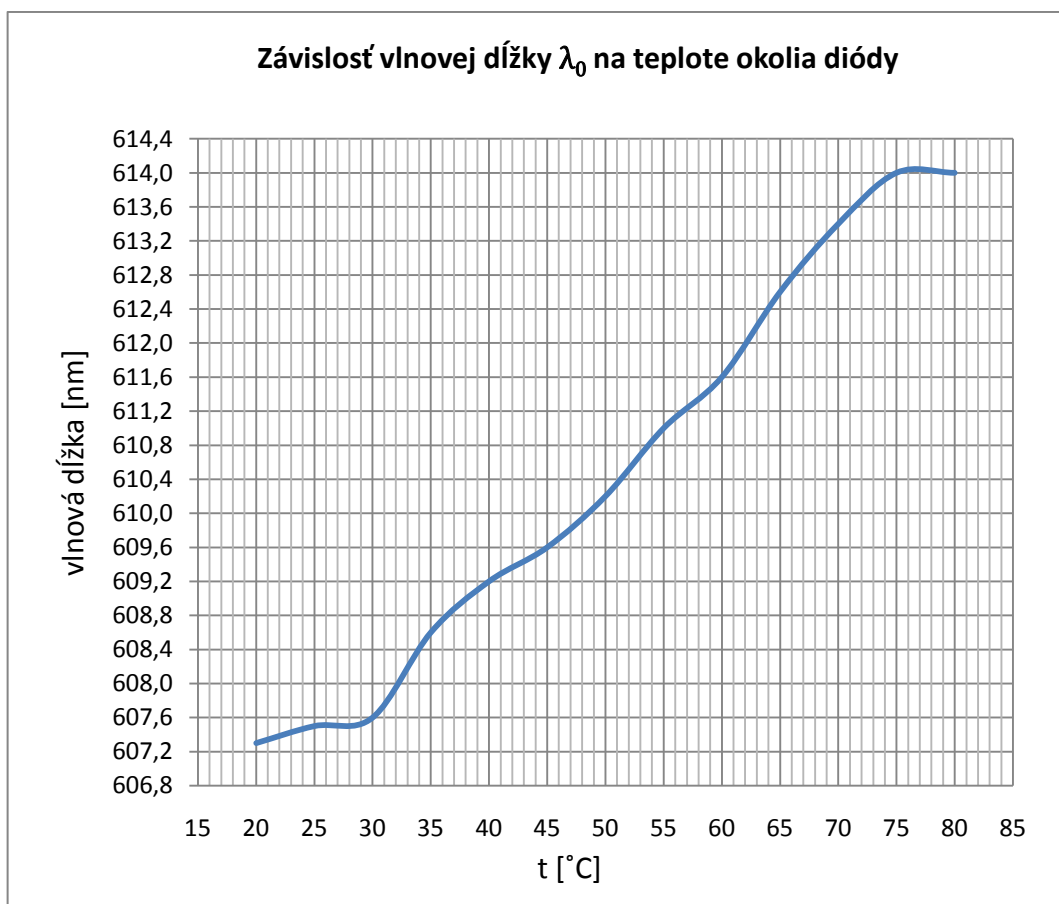
port USB verzie 2.0. Driver zahŕňal funkciu použitia kurzorov. Vďaka ich pomoci bolo možné zo spektrálnej charakteristiky odčítať vlnovú dĺžku a šírku spektrálneho pásma v polovici výkonu.



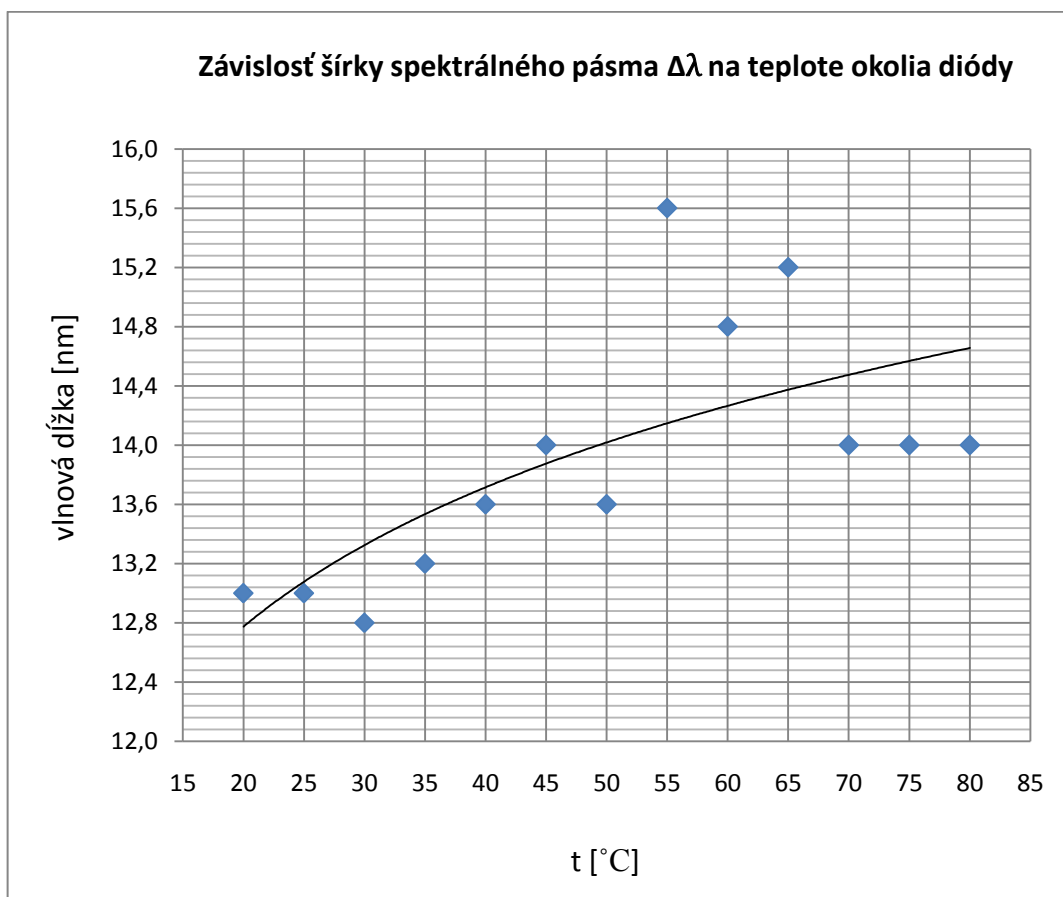
Obrázok 16 - Spektrálna charakteristika diódy B5B-435-305 pri teplote 25°C

Graf zachytený spektrometrom sa uložil a zaradil do príloh Bakalárskej práce. Spomínaný graf udával na osi x vlnovú dĺžku v nm a na osi y relatívny výkon zobrazený v jednotkách scope. Relatívny výkon v mojej laboratórnej práci nezohrával žiadnu kľúčovú úlohu, a preto sa ním nezaobieram. Na každej dióde prebiehalo celkom päť meraní. Tieto merania zaručili získanie čo najpresnejších hodnôt. Zmerané hodnoty sa spriemerovali a použili na tvorbu finálnych grafov. Finálny graf určujúci závislosť šírky spektrálneho pásma na teplote okolia diódy (obrázok 18) má na osi x vynesenu teplotu nastavovanú pri meraní jednotlivých hodnôt šírky pásma. Na osi y sa nachádzajú samotné spriemerované výsledné hodnoty šírky spektrálneho pásma. Ďalší graf udáva závislosť vlnovej dĺžky na teplote okolia diódy (obrázok 17). Líši sa od

predchádzajúceho grafu tým, že na ypsilonovej osi zobrazuje spriemerované hodnoty vlnovej dĺžky.



Obrázok 17



Obrázok 18

6.5 Vyhodnotenie a záver laboratórnej úlohy

Laboratórna úloha demonštrovala vplyv teploty na rôzne druhy diód. Testovaná sada diód pozostávala z nasledujúcich deviatich polovodičových súčiastok :

- nové typy LED diód: B5B-435-305 (červená), RLS-655-3-25 (červená), 740-01AU (červená), 5B4HCA-H (modrá).
- staršie typy LED diód: mini dióda (červená), štvorcová dióda (žltá), kruhová dióda (zelená).
- laserová dióda: PM67-D1POU (červená).
- výkonová dióda: LXHL-LB3C (modrá).

Výsledné namerané hodnoty potvrdili poznatky uvedené v odborných literatúrach. Pri zvyšovaní teploty dochádzalo k zväčšovaniu vlnovej dĺžky λ_0 a k rozširovaniu spektrálneho pásma $\Delta\lambda$ v polovici výkonu. U starších LED diód vysoká teplota zapríčiňovala rozpad spektra na jednotlivé zložky. Dochádzalo teda ku zhoršovaniu monochrómie. Ovpływňovaný bol aj vyžarovaný svetelný výkon P_L , ktorý klesal pri zvyšujúcej sa teplote.

Laserové diódy nedokážu konkurovať LED diódam v teplotnej odolnosti. Zapríčiňuje to samotná konštrukcia laserových diód. K teplotnému zhášaniu svetelného lúča dochádza už pri teplote 50 °C. LED diódy dokážu odolávať teplote odpovedajúcej 85 °C. Doporučené pracovné teploty oboch súčiastok sa však pohybujú v intervaloch 0 – 40 °C. Za ideálnu pracovnú teplotu diód odborníci považujú 25 °C.

Teplotná závislosť je z globálneho hľadiska najväčšou nevýhodou týchto uvedených zdrojov svetla.

7 Záver

Moju Bakalársku prácu môžem rozdeliť do troch častí. Prvá časť podrobne popisuje vlastnosti a konštrukciu LED diód. Potrebné informácie boli čerpané z rôznych literárnych zdrojov, pričom všetky uvedené zdroje uvádzam v sekcii použitá literatúra.

Ďalšia časť predstavuje analýzu teplotného chovania žiarivých zdrojov. Presnejšie sa zaoberám svetelnými zdrojmi, ktoré nachádzajú uplatnenie v telekomunikačnej technike. Tam patria LED diódy a zároveň laserové diódy. Na realizovanie analýzy teplotného chovania žiarivých zdrojov používam teoretické aj praktické vedomosti. Praktické vedomosti pozostávajú z laboratórnej úlohy.

Laboratórna úloha tvorí poslednú a primárnu časť Bakalárskej práce. Namerané hodnoty na jednotlivých diódach súhlasia s hodnotami udávanými výrobcami. Poznatky získané v danej laboratórnej úlohe umožňujú objasniť vplyv okolitej teploty na spektrálne vlastnosti diód a zároveň určujú, ktoré testované diódy sa dajú použiť pri konštrukcii modulátorov a demodulátorov.

Literatúra

- [1] WILFERT, Otakar. *Optoelektronika*. Brno : Vysoké učenie technické v Brne, 2008. 125 s.
- [2] SALEH, Bahaa E. A; TEICH, Malvin C. *Základy fotoniky* . 3. zväzok. Praha : Matfyzpress, 1995. 778 s. ISBN 80-85863-05-7.
- [3] MIHALKA, Pavel. *Optoelektronika*. 1. vydanie. Bratislava : Alfa, 1981. 464 s.
- [4] HEŘMAN, Jozef , et al. *Elektrotechnické a telekomunikačné inštalácie*. Praha : Verlag Deshöfer, 2006. Elektrické svetelné zdroje, s. 1850. ISBN 80-86897-06-0.
- [5] HOLUB, Ján . [Http://www.enviweb.cz](http://www.enviweb.cz) [online]. 2004 [cit. 2010-03-27]. Vlastnosti a použítí LED diod. Dostupné z WWW: <<http://www.enviweb.cz/clanek/obecne/67837/vlastnosti-a-pouziti-led-diod>>.
- [6] Doc. RNDr. Vladimír Vašínek, CSc.: Výukové materiály – Optoelektronika I,II,III
- [7] FILKA, Miloslav. *Optoelektronika : Pre telekomunikácie a informatiku*. 1. vydanie. Brno : Centa, 2009. 369 s. ISBN 978-80-86785-14-1.
- [8] COOPER, Julian. [Http://www.ledsmagazine.com](http://www.ledsmagazine.com) [online].PennWell's Technology Group, 2007 [cit. 2010-03-28]. Technology and Applications of LEDs. Dostupné z WWW: <<http://www.ledsmagazine.com/features/4/8/1>>.

Prílohy

Príloha 1 - Finálne grafy popisujúce závislosť vlnovej dĺžky a šírky spektrálneho pásma na teplote okolia diódy.

Príloha 2 - Grafy vytvorené spektrometrom Ocean Optics USB 2000 zobrazujúce vlnovú dĺžku a šírku spektra pri jednotlivých nastavených teplotách.

Príloha 3 - Dátové listy obsahujúce charakteristické grafy a vlastnosti diód.

Príloha 4 - Webové stránky obsahujúce podrobný popis vybavenia použitého pri zostavovaní meracieho systému určeného pre meranie spektrálnych vlastností výkonových LED diód v závislosti na okolitej teplote.

Prílohy Bakalárskej práce uvádzam na priloženom CD.